

Laura Sova

**LÄMMÖNERISTYSLAASTIN SOVELTUVUUS MASSIIVITIILISEI-
NÄN LÄMMÖNERISTEESKI**

LÄMMÖNERISTYSLAASTIN SOVELTUVUUS MASSIIVITIILISEI- NÄN LÄMMÖNERISTEESKI

Laura Sova
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikka

Tekijä: Laura Sova
Opinnäytetyön nimi: Lämmöneristyslaastin soveltuvuus massiivitiiliseinän lämmöneristeeksi
Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 36 + 2 liitettä

Massiivitiiliseinän sisäpuolinen lämmöneristäminen on haastavaa. Ongelmaksi sisäpuolisessa lämmöneristämisessä nousee muun muassa sääolosuhteiden vaikutus tiiliseinään. Haasteita tuottavat varsinkin viistosade ja pakkanen, jotka voivat vaurioittaa seinää.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin lämmöneristyslaastia korjauskohteen massiivitiiliseinän sisäpuolisena lämmöneristeenä. Tavoitteena oli selvittää, sopiiko lämmöneristyslaasti korjauskohteen lämmöneristeeksi.

Massiivitiiliseinän vanha ja uusi rakenne simuloitiin WUFI Pro -ohjelmalla. Ohjelmaan mallinnettiin haluttu rakenne materiaalikerroksia lisäämällä, valittiin laskentajakso ja lisättiin ilmasto. Tulokset saatiin mallinnuksen aikana valituista monitorointipisteistä. WUFI-simulointien lisäksi uutta rakennetta tarkasteltiin vielä Suomalaisella homemallilla, josta saatiin homeindeksit.

WUFI-simulointien tuloksista havaittiin, että uuden rakenteen kosteuspitoisuus nousee melko korkeaksi ja kahdessa monitorointipisteessä suhteellinen kosteus nousee lähes sataan prosenttiin. Nämä monitorointipisteet olivat tiilirakenteisen ulkoseinän ja sementtipohjaisen kuitulaastin rajapinta sekä kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinta. Homemallilla laskettiin homeindeksit kriittisiin pisteisiin. WUFI-simulointien ja homeindeksien perusteella pääteltiin, että lämmöneristyslaasti ei sovi uuden rakenteen sisäpuoliseksi lämmöneristeeksi.

Asiasanat: lämpö, kosteus, lämmöneristys, WUFI, homemalli

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Laura Sova

Title of thesis: Suitability of Thermal Insulating Mortar as Insulation in Massive Brick Wall

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 36 + 2 appendices

The objective of this thesis was to observe thermal insulating mortar as insulation on an old massive brick wall. The main goal was to study if thermal insulating mortar could be used to provide more thermal insulation to an old wall.

First the old and new structure of the massive brick wall were simulated with WUFI Pro program. The wanted structure was modeled in the program by adding material layers. After this, simulation time and climate for simulation were chosen. Once all the other settings were set, the simulation could begin. In addition to WUFI simulations, the new structure was observed with Finnish mould growth model, which provided mould index of the structure.

The results of the WUFI simulations show that the moisture content of the new structure increased. At two monitoring points the relative humidity increased to almost hundred percent. These monitoring points were the interface between the brick wall and cement-based fiber mortar and the interface between the fiber mortar and thermal insulating mortar. Finnish mould growth model was used in calculating the mould index of critical points.

Based on the WUFI simulations and the mould index values, it was concluded that the thermal insulating mortar is not a suitable insulation material for this type of structure. As a development proposal it is recommended to study and simulate other possible thermal insulations.

Keywords: heat, moisture, thermal insulation, WUFI, mould growth model

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA	8
2.1 Kosteus	8
2.1.1 Kosteuslähteet	8
2.1.2 Ilman kosteus	10
2.1.3 Kosteuden siirtyminen rakenteisiin	10
2.1.4 Materiaalin kosteus ja kosteuskäyttäytyminen	11
2.1.5 Kosteusvauriot ja kosteuden aiheuttamat haitat	12
2.2 Lämpö	13
2.2.1 Lämmön siirtyminen	13
2.2.2 Lämmönjohtavuus	14
3 MASSIIVITIILISEINÄN SISÄPUOLINEN LÄMMÖNERISTÄMINEN	16
3.1 Lämmöneristysten suunnittelu	16
3.2 Lämmönläpäisykerroin	16
3.3 Tiiliseinän sisäpuolinen lämmöneristäminen	17
4 MASSIIVITIILISEINÄN RAKENNE	18
4.1 Vanha rakenne	18
4.2 Uusi rakenne	19
4.3 Lämmöneristyslaasti	19
5 WUFI-SIMULOINTI	21
5.1 Rakenteen mallintaminen	21
5.2 Laskentajakson valinta	24
5.3 Ilmaston lisääminen	25
5.4 Laskenta ja tulokset	27
5.4.1 Rakenteen kosteuspitoisuuden muutos	27
5.4.2 Rakennekerrosten kosteuspitoisuuden muutos	28
5.4.3 Kriittiset monitorointipisteet	29
6 HOMEHTUMISRISKIN ARVIOINTI	31

7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 WUFI-simuloinneissa käytettyjen materiaalien tiedot	
Liite 2 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat kriittisissä monitorointipisteissä	

1 JOHDANTO

Rakennukseen kohdistuu erilaisia rakennusfysikaalisia reaktioita, jotka pitää huomioida rakennusta tai sen korjausta suunniteltaessa. Kosteus ja lämpö ovat näistä rakennusfysikaalisista reaktioista tunnetuimpia ja ne vaikuttavat rakennuksen toimintaan sekä yhdessä että erikseen.

Opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin kosteuslähteisiin, ilman kosteuden muotoihin, kosteuden siirtymistapoihin rakenteissa, materiaalien kosteuskäyttäytymiseen, kosteusvaurioihin ja kosteuden aiheuttamiin erilaisiin haittoihin. Lisäksi työssä käydään läpi lämmön siirtymistapoja sekä lämmönjohtavuuden perusteita. Työssä kerrotaan myös lyhyesti lämmöneristyksen suunnittelusta, lämmönläpäisykertoimen toiminnasta, tiiliseinän sisäpuolisesta lämmöneristämisestä ja lämmöneristyslaastista ja sen käytöstä.

Opinnäytetyön päätavoitteena on tarkastella lämmöneristyslaastia massiivitiili-seinän lämmöneristeenä. Tavoitteena on selvittää, sopiiko lämmöneristyslaasti korjauskohteen sisäpuoliseksi lämmöneristeeksi simuloimalla massiivitiiliseinää WUFI Pro -ohjelmalla. Opinnäytetyössä massiivitiiliseinän tarkastelussa käytetään myös VVT:n ja TTY:n kehittelemää Suomalaista homemallia. Homemallilla voidaan arvioida rakenteen homehtumisriskiä ja homeen kasvua.

2 RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA

Rakennusta ja sen rakenteita suunniteltaessa on huomioitava kosteuden ja lämmön toimintaa. Huonosti suunniteltu kosteuden ja lämmön eristäminen voivat aiheuttaa vaurioita rakennukseen ja sen rakenteisiin. Rakenteen kosteus ja lämmöneristykset ovat läheisessä yhteydessä toisiinsa ja siksi ne vaikuttavat toistensa toimintaan. Kosteusteknisesti huonosti suunnitellun rakenteen lämmöneristyskyky heikkenee ajan kuluessa. (3, s. 3, 7-9.)

2.1 Kosteus

Kosteutta esiintyy veden eri olomuodoissa, joita ovat kiinteä jää tai lumi, nestemäinen vesi ja kaasumainen vesihöyry. Normaalioloissa ilmassa, huokoisissa materiaaleissa ja rakenteissa on kosteutta. Kosteuden määrän määrittävät materiaalin ominaisuudet sekä ympäröivän ilman lämpötila ja kosteus. Myös rakentamisen ja käytön yhteydessä voi rakenteisiin päästä ylimääräistä kosteutta. (1, s. 65; 2, s. 5-6.)

Kosteusvaurioita rakenteissa aiheuttavat rakennusosien kostuminen, jatkuva kosteus ja kuivumisen pitkittyminen. Mikrobikasvu alkaa rakennusosien pysyessä pitkään kosteina. (1, s. 65.)

2.1.1 Kosteuslähteet

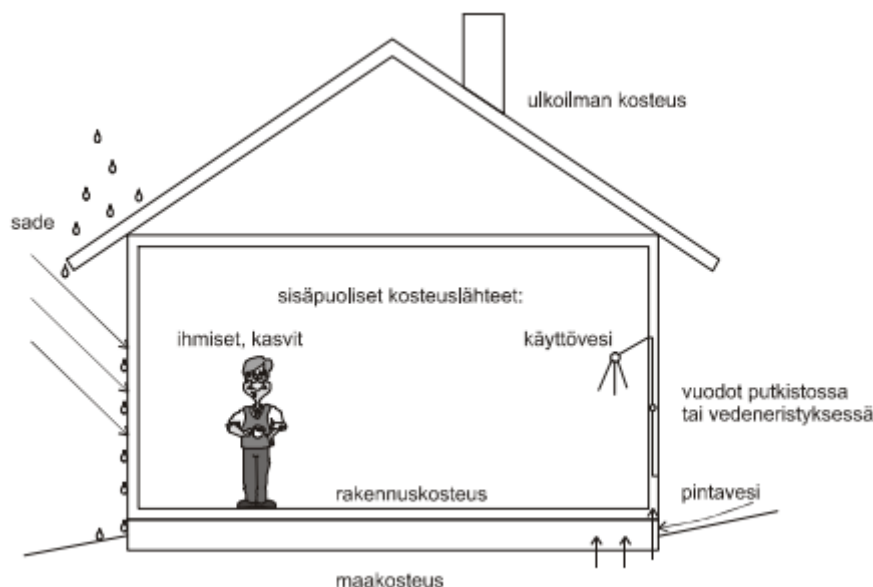
Sadevesi on rakennukseen vaikuttavista kosteuslähteistä näkyvin. Sade esiintyy vetenä, räntänä tai lumena, joista rakennusta kastelevin on räntäsade. Vesikatto, muut vaakapinnat ja seinien ulkoverhous ovat rakenteita, joihin sadevesi vaikuttaa eniten. Kova tuuli lisää sadeveden aiheuttamaa kosteusrasitusta varsinkin seinän ulkoverhouksessa. (1, s. 66-67; 2, s. 18-19.)

Maaperän kosteus voidaan jakaa neljään osaan, joita ovat pintavesi, vajovesi, pohjavesi ja kapillaarivesi. Pintavedellä tarkoitetaan vesialueita, esimerkiksi järvet ja joet. Pintaveden imeytyessä maahan, se muuttuu pohjavedeksi. Vajovesi on maahan painuvaa sadevettä ja kapillaarivesi on vettä, joka on kapillaarivoi-

mien vaikutuksesta noussut pohjavedenpinnan yläpuolelle. Vajovesi voi aiheuttaa kosteuskuormitusta rakennuksen perustuksille sekä kellaritilan ulkoseinille. Pohjaveden pinnan korkeus otetaan huomioon suunnitellessa rakennuksen perustussyvyyttä ja kellaritilojen korkeusasemaa. (1, s. 67-68; 2, s. 21.)

Rakenteeseen tai rakennusaineisiin voi joutua ennen rakennusvaihetta tai rakennusvaiheen aikana kosteutta. Tätä kosteutta kutsutaan rakennuskosteudeksi. Rakennuskosteus on etenkin uusien rakennusten ongelma. Rakennuskosteutta voidaan estää muun muassa suojaamalla ja varastoimalla materiaalit ja tarvikkeet sekä rakenteiden kuivatuksella ja lämmityksellä ennen käyttöönottoa. Rakennuskosteus kuitenkin poistuu rakenteesta, kun rakenne saavuttaa kosteustasapainon ympäristön kanssa. Kosteustasapainon löytyminen voi viedä useamman vuoden. (1, s. 78-79; 2, s. 21.)

Erilaiset vesivuodot putkistossa tai laitteista ovat myös kosteuslähteitä rakenteisiin. Vesivuodon aiheuttaa yleensä rakenteellinen virhe, joka on seurausta huonosta suunnittelusta tai toteutuksesta. Paineellisten vesiputkien ja vettä käsittelevien laitteiden vesivuodot voivat aiheuttaa äkillisesti suuria ja pahoja kosteusvaurioita. (Kuva 1.) (1, s. 67-68; 2, s. 22.)



KUVA 1. Rakennuksen ja rakenteiden kosteuslähteitä (2, s. 12)

2.1.2 Ilman kosteus

Ilman kosteutta ilmaistaan joko vesihöyryn osapaineena, vesihöyrymääränä eli absoluuttisena kosteutena tai suhteellisenä kosteutena. Vesihöyryn osapaine tarkoittaa ilman sisältämän vesihöyryn aiheuttamaa painetta. Absoluuttinen kosteus ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn määrän. Vesihöyryn määrä riippuu ilman lämpötilasta, lämpimässä ilmassa vesihöyryä on enemmän kuin kylmässä ilmassa. Suhteellinen kosteus on rakennustekniikassa yleisempi suure. Sen tunnus on RH ja se ilmoitetaan prosentteina. Suhteellinen kosteus kertoo ilman sisältämän vesihöyryn määrän enimmäisvesihöyrymäärästä. (1, s. 68-70.)

2.1.3 Kosteuden siirtyminen rakenteisiin

Kosteuden olomuoto vaikuttaa siihen, miten se siirtyy rakenteisiin. Nesteinä eli vetenä kosteus voi siirtyä rakenteisiin kapillaarisesti. Kapillaarinen siirtyminen aiheutuu huokosalipaineiden eroista materiaaleissa. Huokosalipaineen suuruuteen vaikuttaa huokosen koko, huokosen koon pienentyessä sen huokosalipaine kasvaa suuremmaksi. Kosteus kulkeutuu huokosalipaineen aiheuttaman kapillaarisen imun avulla huokoisissa materiaaleissa tai muista materiaaleista huokoiisiin materiaaleihin. Huokoisia materiaaleja ovat muun muassa puu, tiilet ja harkot. (1, s. 68; 2, s. 22-24.)

Rakennusten pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla vesi valuu painovoiman vaikutuksesta alaspäin ja pääsee siirtymään rakenteisiin. Yleensä painovoimaisesti siirtyneen kosteuden määrät ovat suuria aiheuttaen kosteusvaurioita rakenteeseen. (2, s. 26-27.)

Tuulenpaine ja viistosade yhdessä aiheuttavat kosteuden siirtymistä rakennuksen seinärakenteisiin pienien rakojen kautta. Tällainen kosteuden siirtyminen voidaan estää räystäsrakenteilla, suojapellityksillä, sopivilla verhousrakenteilla ja saumojen tiivistyksillä sekä tuuletusväleillä. (2, s. 27.)

Vesihöyryn siirtyminen rakenteisiin tapahtuu joko diffuusiolla tai konvektiolla. Kun epätasaisessa kaasuseoksessa kaasumolekyylit pyrkivät tasaiseen kaasuseokseen kutsutaan ilmiötä diffuusioksi. Kaasumolekyylien liike tapahtuu suuresta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Rakennustekniikassa diffuusio

tarkoittaa vesihöyryn liikkumista rakenteen läpi. Diffuusiota esiintyy varsinkin talvisin, kun lämpimässä sisäilmassa on enemmän vesihöyryä kuin kylmässä ulkoilmassa. (1, s. 70-71; 2, s. 27.)

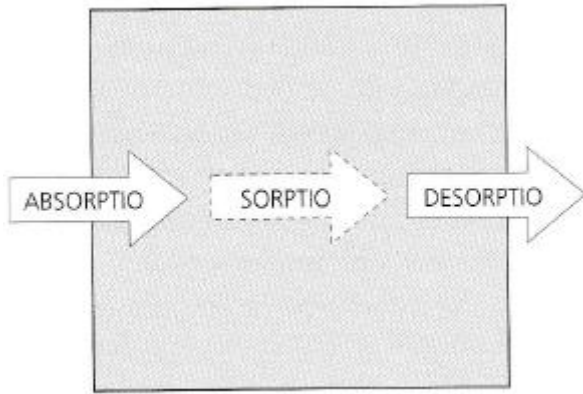
Jos vesihöyry siirtyy kaasuseoksen mukana, puhutaan konvektiosta. Huokoiset ja ilmaa läpäisevät aineet sekä rakennusosien raot päästävät läpi konvektiovirtausta. Kokonaispaine-ero rakenteissa aiheuttaa virtauksien syntymistä. Sisätilan ja ulkoilman paine-ero on tyypillinen konvektiovirtauksen aiheuttaja. Konvektion kautta tapahtuva vesihöyryn siirtyminen rakenteisiin voi olla huomattavasti suurempaa kuin diffuusion kautta siirtyvä vesihöyryn määrä. (1, s. 71-72; 2, s. 31-34.)

2.1.4 Materiaalin kosteus ja kosteuskäyttäytyminen

Materiaalit ovat lähes aina jonkinlaisessa vuorovaikutuksessa kosteuden kanssa. Kosteus vaikuttaa materiaalien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Jotta materiaali pysyy hyvänä, on tärkeää tietää, miten se käyttäytyy ollessaan tekemisissä kosteuden kanssa. Se miten kosteus imeytyy ja poistuu materiaalista, riippuu materiaalin ominaisuuksista. (2, s. 34.)

Materiaalissa oleva kosteusmäärä voidaan ilmoittaa usealla tavalla. Yleisin tapa on ilmoittaa kosteuden massan ja kuivan aineen massan välinen suhde. Tämä arvo ilmaistaan prosentteina kuivapainosta. Materiaalin kosteus voidaan ilmoittaa myös kosteuden massan ja tilavuuden välisenä suhteena tai tasapainokosteuden avulla. (1, s. 77; 2, s. 35.)

Ulkoiset voimat siis aiheuttavat kosteuden siirtymisen rakenteeseen. Kosteuden siirtymistä materiaaliin kutsutaan absorptioksi, kosteuden liikkumista materiaalista sorptioksi ja kosteuden poistumista materiaalista kutsutaan desorptioksi. Kun huokoinen materiaali sitoo itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan, kutsutaan tätä hygroskooppisuudeksi. Eri materiaalien hygroskooppisuus vaihtelee paljon. Puupohjaisilla materiaaleilla hygroskooppisuus on suuri ja mineraalivilloilla pieni. (Kuva 2.) (1, s. 77; 2, s. 36.)



KUVA 2. Kosteuden liikkuminen materiaalissa (1, s. 77)

Tasapainokosteus määritellään materiaalissa olevan kosteusmäärän perusteella tietyssä olosuhteessa. Tasapainokosteutta kuvataan usein sorptio-käyränä. Käyrässä muuttujina ovat materiaalin sitoma kosteus ja ilman suhteellinen kosteus. Tasapainokosteuden saavuttaminen olosuhteiden muuttuessa vie eri materiaaleilla eri pituisen ajan. Materiaalit, jotka läpäisevät vesihöyryä hyvin, saavuttavat tasapainokosteuden muita materiaaleja nopeammin. Myös materiaalin paksuus vaikuttaa tasoittumisaikaan. (1, s. 77.)

2.1.5 Kosteusvauriot ja kosteuden aiheuttamat haitat

Kosteus aiheuttaa rakennukselle ja sen rakenteille vaurioita ja heikentää rakennuksen käyttöä. Kosteusvauriot voivat aiheuttaa myös terveysriskejä rakennuksessa oleskeleville ihmisille. Kosteuden aiheuttamista terveyshaitoista vakavin on homeelle altistuminen. (2, s. 50.)

Sienet ja bakteerit, kuten homesienet, tarvitsevat kehittyäkseen tarpeeksi pitkän, jatkuvan ja olosuhteiltaan suotuisan ympäristön. Homesienen kasvu on mahdollista, kun ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on yli 75 % ja lämpötila on 5-50 °C. Yli 20 °C:n lämpötilassa homesienen kasvu on kuitenkin selvästi nopeampaa. Homesienen yleisin kasvualusta on puu, mutta sitä voi esiintyä myös muissa orgaanisissa materiaaleissa. (2, s. 50-51.)

Kosteus voi aiheuttaa rakennukselle ja sen rakenteille kemiallisia vaurioita, esimerkiksi korroosiota ja ruostumista. Kosteus lisäksi heikentää materiaaleja, aiheuttaa materiaalien nopeampaa vanhenemista ja heikentää pintojen ulkonäköä. (2, s. 54.)

2.2 Lämpö

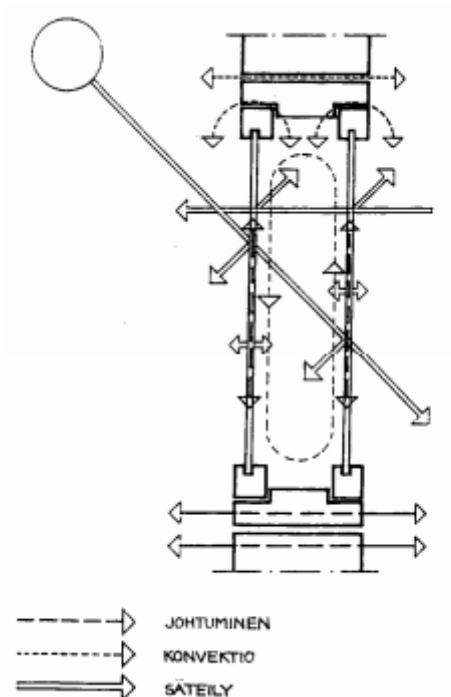
Lämpö on atomien tai molekyylien värähtelevää liikettä. Lämpö voi siirtyä rakenteessa tai tilassa kolmella tavalla: johtumalla, säteilemällä tai konvektion avulla. (1, s. 40.)

2.2.1 Lämmön siirtyminen

Johtumisessa liike-energiaa siirtyy molekyylistä toiseen molekyyliin. Tätä kutsutaan siirtymisen vuoksi myös lämmön virtaamiseksi. Lämpö tasoittuu väliaineessa siten, että lämpövirtaus tapahtuu lämpimästä kylmempään päin. Johtumista tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä. (1, s. 40; 4, s. 12.)

Kun energiaa siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen avulla, puhutaan säteilystä. Lämpötilaltaan absoluuttisen nollapisteen yläpuolella olevat kappaleet lähettävät säteilyä. Säteilylämpö esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Säteilyn osuessa johonkin pintaan, osa siitä heijastuu ja osa absorboituu. (1, s. 40; 3, s. 12-13.)

Lämmön siirtyessä kaasun tai nesteen virtauksen mukana on kyse konvektiosta. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotettua konvektiota on kaasun tai nesteen liikkuminen ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Ulkopuolinen voima voi olla esimerkiksi koneellinen ilmanvaihto, tuuli tai ihmisten liikkuminen. Luonnollisessa konvektiossa lämpötiloista aiheutuva tiheysero saa kaasun tai nesteen liikkumaan. Pakotettu konvektio on yleisempää kuin luonnollinen konvektio, jota esiintyy harvoin. (Kuva 3.) (1, s. 41.)



KUVA 3. Lämmön siirtyminen ikkunassa (4, s. 14)

2.2.2 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä jatkuvuustilassa tasa-aineisen ainekerroksen läpi eli toisin sanoen, sitä miten hyvin materiaali johtaa lämpöä. Lämmönjohtavuuden tunnus on λ ja yksikkö W/mK. Lämmönjohtavuudelle on useita eri arvoja, kuten lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, keskimääräinen lämmönjohtavuus ja ilmoitettu lämmönjohtavuus. (1, s. 41-42.)

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo on arvo, jota käytetään rakenteiden lämpöteknisissä laskelmissa. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon tunnus on λ_U . Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ottaa huomioon aineen lämmönjohtavuuden mittaustulosten hajonnan ja lämpötilan, kosteuspitoisuuden sekä ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen. Suunnitteluarvo ei kuitenkaan huomioi lämmöneristeessä olevista ilmaraoista tai epäideaalisesta asennuksesta eikä lämmöneristeen suuresta ilmanläpäisevyydestä aiheutuvaa lämmön siirtymisen lisäystä ainekerroksessa. (1, s. 41.)

Keskimääräinen lämmönjohtavuus kertoo aineen lämmönjohtavuuden, kun aineen mittaukset on tehty 10 °C:n lämpötilassa. Keskimääräisen lämmönjohtavuuden tunnus on λ_{mean} . Ilmoitettu lämmönjohtavuus on arvo, joka on SFS-EN standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisesti määritelty. Se perustuu yleensä 10 °C:een lämpötilassa tehtyihin mittauksiin ja mittaustulosten käsittelyyn. Ilmoitettua lämmönjohtavuutta voidaan käyttää lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon lähtötietona. Ilmoitetun lämmönjohtavuuden tunnus on λ_D . (1, s. 41-42.)

3 MASSIIVITIILISEINÄN SISÄPUOLINEN LÄMMÖNERISTÄMINEN

Kun rakenne koostuu vain yhdestä materiaalista, puhutaan massiivirakenteesta. Materiaali toimii silloin rakenteen kantavana rakenteena sekä lämmöneristeenä. Massiivirakenteilla on yleensä huono lämmöneristyskyky ja usein niihin tarvitaan-kin lisälämmöneristystä. (6, s. 1.)

3.1 Lämmöneristysten suunnittelu

Lämmöneriste on rakennusaine, jota käytetään lämmöneristämiseen. Lämmöneristys on yhden tai useamman lämmöneristekerroksen kokonaisuus. Yleisiä lämmöneristeitä ovat muun muassa kevytbetoni, mineraalivilla ja puhallusvilla. (1, s. 49.)

Lämmöneristystä suunniteltaessa on huomioitava, että valittava lämmöneristys on rakenteeseen ja käyttötarkoitukseen soveltuva. Näin lämmöneristys täyttää sille asetetut vaatimukset ja toimii halutulla tavalla mahdollisimman pitkään. Kun lämmöneristys on oikein valittu, se toimii moitteettomasti rakenteen kestoian. Huono lämmöneristysvalinta voi johtaa laskettua isompaan lämpövirtaan rakenteen läpi ja aiheuttaa näin taloudellisia menetyksiä. Pahimmassa tapauksessa huonosti valittu lämmöneristys johtaa vaurioihin, jotka vaativat korjausta. (3, s. 35; 4, s. 24.)

3.2 Lämmönläpäisykerroin

Rakenteen lämmönläpäisykertoimella kuvataan rakenteen lämmöneristyskykyä. Lämpövirran tiheys, joka läpäisee rakenteen, määrittää lämmönläpäisykertoimen. Lämmönläpäisykertoimen tunnus on U ja yksikkö W/m^2K . Pieni U-arvo tarkoittaa, että rakenne eristää hyvin lämpöä. (1, s. 50; 9.)

3.3 Tiiliseinän sisäpuolinen lämmöneristäminen

Tiiliseinät tulisi lisäeristää aina ulkopuolelta, koska sisäpuolinen lisäeristäminen on kosteusteknisesti haastavaa ja toimivuutta ei välttämättä voida taata. Sisäpuolinen lisäeristys laskee seinän lämpötilaa, jolloin pakkasen vaikutus seinään lisääntyy. (3, s. 110; 5, s. 32-33.)

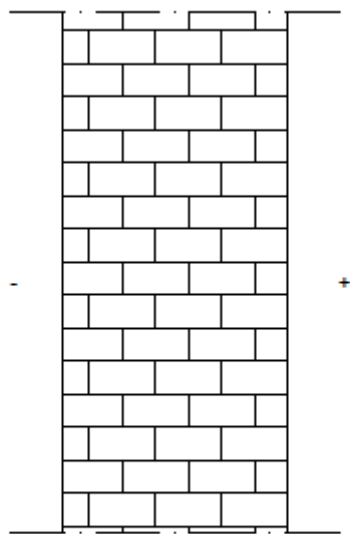
Jos tiiliseinässä päädytään kuitenkin käyttämään sisäpuolista lisäeristystä, tulee huomioida seinässä olevien vesi- ja sähköjohtojen suojaaminen kosteudelta, ikkunapieliin ja -penkkeihin mahdollisesti tiivistyvä kosteus sekä sateesta kostean ja entistä kylmemmän seinän kuivuminen. Kun vanhan seinän tiiviystä ei ole varmaa tietoa, sisäpuoliseen lisäeristykseen pitäisi sisällyttää aina höyrynsulku. (3, s. 110.)

4 MASSIIVITIILISEINÄN RAKENNE

Korjauskohde on rakennettu 1900-luvun alussa. Rakennus on teräsbetonirunkoinen ja ulkoseinät ovat massiivitiiliseiniä. Kohde on suojeltu ja sen ulkonäköä ei saa muuttaa, joten korjauskohteen tiiliseiniin on suunnitteilla sisäpuolinen lisälämmöneristys.

4.1 Vanha rakenne

Ulkoseinät ovat massiivitiiliseiniä, joiden vahvuus vaihtelee 1,5-2 kiven välillä eli seinien vahvuus on 400-600 mm. Vanhoissa seinärakenteissa on tiilirakenteen lisäksi joissain kohdissa sisäpuolella rappaus, pintakäsittelyt tai -verhoilu ja maalaus. Seinistä poistetaan vanhat pintamateriaalit tiilipintaan saakka ennen korjaustoimenpiteitä. (Kuva 4.)

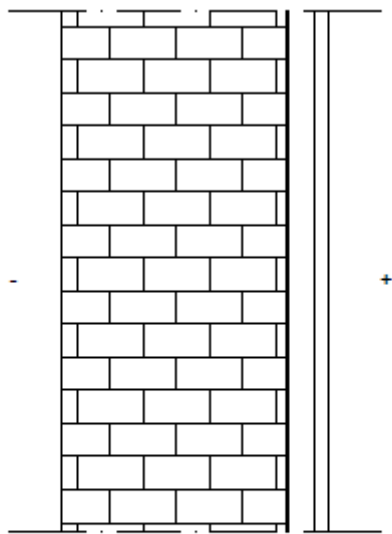


Rakennekerrokset:
430 Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha

KUVA 4. Massiivitiiliseinän vanha rakenne

4.2 Uusi rakenne

Uuden seinärakenteen on tarkoitus parantaa ulkoseinän lämmöneristystä. Vanhan tiiliseinän lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on noin $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Uudella seinärakenteella pyritään puolittamaan U-arvo, jolloin se olisi uudessa seinärakenteessa noin $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Seinän lämmöneristyksen parantamisessa käytetään lämmöneristyslaastia. (Kuva 5.)



Rakennekerrokset sisältäpäin lukien:
25 3-kerrosrappaus
50 Lämmöneristyslaasti
5 Sementtipohjainen kuitulaasti
430 Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha

KUVA 5. Massiivitiiliseinän uusi rakenne

4.3 Lämmöneristyslaasti

Yksi vaihtoehto toteuttaa massiivitiiliseinän sisäpuolinen lämmöneristys on käyttää lämmöneristyslaastia. Sitä käytetään uudisrakentamisessa sekä varsinkin korjausrakentamisessa. Lämmöneristyslaastilla voidaan parantaa seinän lämmöneristystä sekä samalla se toimii seinien oikaisulaastina. Lämmöneristyslaastin runkoaineita ovat luonnonhiekkä, EPS-pallot ja kalkkikivi sekä sideaineita ovat sementti ja sammutettu kalkki. Lämmöneristyslaastia voidaan käyttää

tiiliseinän lisäksi betoni-, kevytbetoni- sekä harkkoseinissä. Uudessa seinärakenteessa käytetyn lämmöneristyslaastin lämmönjohtavuuden arvo on 0,07 W/mK. (7.)

Lämmöneristyslaastia käytettäessä on tärkeää, että alusta on puhdistettu kunnolla. Laastin tartuntaa heikentää esimerkiksi alustaan jäänyt rasva tai pöly. Jos laastin tartuntaa halutaan parantaa, voidaan kuiva alusta kostuttaa ennen laastin käyttöä. Lämmöneristyslaasti voidaan levittää laastiruiskulla tai käsin. Laastia levitetään usein kaksi tai useampi kerros halutun paksuuden saavuttamiseksi. Ennen seuraavan kerroksen lisäämistä on kuitenkin varmistuttava, että edellinen kerros on jäykistynyt tarpeeksi. Lämmöneristyslaastin jälkihoitona suoritetaan jälkikostutusta. Varsinkin kuivissa olosuhteissa laastin jälkikostutus on tärkeää laastin kovettumisen varmistamiseksi. (7.)

5 WUFI-SIMULOINTI

WUFI Pro on saksalaisen Fraunhofer-Institut für Bauphysikin valmistama ohjelma. Ohjelmalla voidaan simuloida muun muassa rakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä.

5.1 Rakenteen mallintaminen

WUFI-simulointi aloitettiin komponentti-välilehdeltä. Välilehdellä mallinnettiin haluttu rakenne rakennekerroksia lisäämällä. Rakenteelle määriteltiin paksuus ja materiaali. Materiaalit valittiin joko ohjelman omasta materiaalikirjastosta tai luotiin oma materiaali. Tässä opinnäytetyössä ohjelman omasta materiaalikirjastosta valittiin tiilirakenteinen ulkoseinä ja 3-kerrosrappaus. Sementtipohjainen kuitulaasti ja lämmöneristyslaasti luotiin itse. Materiaalitiedot itse luoduille materiaaleille saatiin valmistajalta ja etsimällä internetistä. Materiaalien tarkemmat materiaalitiedot löytyvät opinnäytetyön liitteestä 1. (Kuva 6.)

Kerroksen/Materiaalin nimi: Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha

Materiaalitiedot Info

Perusarvot

Raakatiheys [kg/m³]	1900,0
Huokoisuus [m³/m³]	0,24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva [J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C [W/mK]	0,6
Vesihöyryn diffusiovastuskerroin [-]	10,0

Valinnaiset parametrit

Kosteuspitoisuus, 80%-rh [kg/m³]	18,0
Vapaa vesikyllästyminen [kg/m³]	190,0
Lämmönjohtavuuden kosteuseriippuvuus [%/M.-%]	15,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T) [W/mK²]	0,0002

Tyypillinen rakennekosteus [kg/m³]: 100,0

Kerospaksuus [m]: 0,43

Väri: [Red]

Hygrotermiset funktiot

Kosteuskapasiteettifunktio

Kapillaariset ominaisuudet, Absorptiota
Kapillaariset ominaisuudet, Uudelleenjakautuminen
Vesihöyryn diffusiovastuskerroin, kosteuseriippuva
Lämmönjohtavuus, kosteuseriippuva
Lämmönjohtavuus, Lämpötilariippuva
Entalpia, Lämpötilariippuva

Kuva Muokkaa taulukkoa Lue tied...

☒ Arvioi

No.	SK [-]	Kosteuspitoisuus [kg/m³]
1	0,0	0,0
2	0,1	0,55
3	0,2	1,23
4	0,3	2,11
5	0,4	3,26
6	0,5	4,84
7	0,55	5,89

Kopio i:

KUVA 6. Tiilirakenteisen ulkoseinän materiaalitiedot

Rakenteelle määriteltiin myös monitorointipisteet eli pisteet, joista saatiin simuloinnin jälkeen tulokset. Monitorointipisteiksi ohjelma merkitsi automaattisesti rakenteen ulko- ja sisäpinnan. Näiden pisteiden lisäksi monitorointipisteiksi valittiin materiaalien rajapinnat eli tiilirakenteen ja sementtipohjaisen kuitulaastin rajapinta, kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinta sekä lämmöneristyslaastin ja 3-kerrosrappauksen rajapinta. (Kuva 7.)

Rakenne/Monitorointipisteet | Ilmansuunta/Kallistuskulma/Korkeus | Pinnan siirtokertoimet | Alkuolosuhteet

Rakenne

No.	Kerros/Materiaali (ulkoa sisälle päin)	Paksuus [m]
1	Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha	0,43
2	Sementtipohjainen kuitulaasti	0,005
3	Lämmöneristyslaasti	0,05
4	3-kerrosrappaus	0,025

Monitorointiasemat: Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha

No.	Syvyydellä [m]	Todellinen syvyys [m]	Elementti	Uusi	Poista

Määritä materiaalitietokannasta

Materiaalitietokanta | Esimerkkitaupukset

Hila

Automaattisesti (I) | 100 | Tiheä

ei automaattinen hilamääritys editointia v.

Kokonaispaksuus
Paksuus: 0,51 m

Lämpötekninen kokonaistoimivuus
R-arvo: 1,37 m²K/W

U-arvo: 0,648 W/m²K

Materiaalitiedot

Lähteet, nielut

Uusi kerros

Monista

Poista

Muokkaa rakennetta

☐ Kuva

☒ Taulukko

Taulukko: jaottelu

☐ Hila

☒ Monitorointipaikat

KUVA 7. Rakennemallin luominen ja monitorointipisteiden valinta

Seuraavaksi valittiin rakenteelle ilmansuunta ja kallistuskulma. Rakenteen ilmansuunnaksi valittiin etelä ja kallistuskulmaksi 90 astetta. Samalla valittiin myös rakenteen korkeudeksi 10-20 metriä. Pinnan siirtokertoimet -kohdassa määriteltiin lämmönvastukset ulko- ja sisäpinnoille sekä valittiin säteilykertoimet. Pinnan siirtokertoimista valittiin ulkopinnan lämmönvastukseksi tuulesta riippuva lämmönvastus, koska simuloinnissa käytetty ilmasto sisälsi tiedot tuulen nopeudesta ja suunnasta. Sisäpinnan lämmönvastukseksi määriteltiin 0,13 m²K/W,

joka on Suomessa yleisesti käytössä oleva lämmönvastus rakenteiden sisäpinnoille (10, s.22).

Alkuolosuhteista valittiin rakenteen alkukosteus ja alkulämpötila. Alkukosteus voidaan valita vakioksi koko rakenteessa tai jokaiselle materiaalille voidaan valita oma alkukosteus. Kosteus voidaan myös lukea tiedostosta. Alkulämpötila voidaan valita vakioksi koko rakenteessa tai lukea tiedostosta. (Kuva 8.)

Rakenne/Monitorointipisteet

Ilmansuunta/Kallistuskulma/Korkeus

Pinnan siirtokertoimet

Alkuolosuhteet

Komponentin alkukosteus

☒ Vakio koko komponentissa

☐ Jokaisessa kerroksessa

☐ Lue tiedostosta

Komponentin alkulämpötila

☒ Vakio koko komponentissa

☐ Lue tiedostosta

Alkutilanteen suhteellinen kosteus [-]

0,8

Komponentin alkulämpötila [°C]

20

Eri kerroksien alkutilanteen kosteuspitoisuus

No.	Materiaali Kerros	Paksuus [m]	Kosteus- pitoisuus [kg/m³]
1	Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha	0,43	18,0
2	Sementtipohjainen kuitulaasti	0,005	0,56
3	Lämmöneristyslaasti	0,05	1,13
4	3-kerrosrappaus	0,025	45,0

KUVA 8. Alkuolosuhteiden valinta

Rakenteen alkukosteus valittiin kahdessa simuloinnissa vakioksi koko rakenteessa. Kahdessa simuloinnissa määriteltiin jokaiselle materiaalille oma alkukosteus (Taulukko 1). Alkulämpötilaksi valittiin 20 °C, joka on vakio koko rakenteessa.

TAULUKKO 1. Simulointien alkuolosuhteet

Simulointi	Alkuolosuhteet
	Komponentin alkukosteus
1	Vakio koko komponentissa
2	Vakio koko komponentissa
3	Jokaisessa kerroksessa
4	Jokaisessa kerroksessa

5.2 Laskentajakson valinta

Seuraavaksi siirryttiin ohjaus-välilehdelle. Laskentajaksoksi eli simuloitavaksi aikaväliksi tässä opinnäytetyössä valittiin viisi vuotta (Kuva 9). Numeriikka-kohta jätettiin ohjelman asettamiin asetuksiin.

Laskentajaksot /Jakaumat

Numeriikka

Alku & Loppu /Jakaumat

Laskenta	Jakauma	Päivämäärä	Tunti
Alku	Jakauma 1	1.10.2018	0.00.00
Loppu	Jakauma 2	1.10.2023	0.00.00
		19.4.2018	0.00.00

Uusi

Poista

Kopioi

Syötä

Aika-askeleet [h]

KUVA 9. Laskentajakson valinta

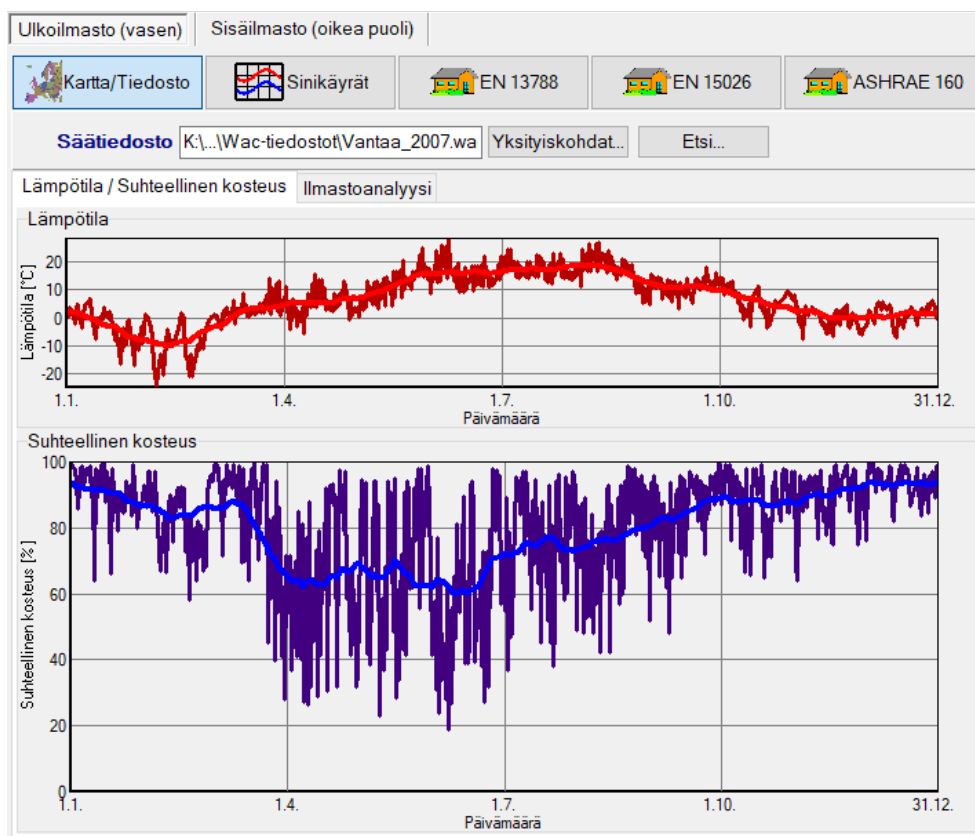
5.3 Ilmaston lisääminen

Ilmasto-välilehdellä määritettiin simuloitavalle rakenteelle ulko- ja sisäilmasto. Sisäilmaston asetuksista valittiin sisälämpötilaksi 21 °C ja sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi 50 % tai 60 %. (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Simulointien sisäilmasto

Simulointi	Sisäilmasto
	Suhteellinen kosteus [%]
1	50
2	60
3	50
4	60

Ulkopuolen ilmastoksi valittiin ilmasto, jossa simuloitava rakenne sijaitsee. Valittavana oli ohjelmassa jo valmiiksi olevia ilmastoja. Ohjelmaan pystyi myös itse tuomaan rakennusfysikaalisen testivuosi-ilmaston. Ohjelmassa valmiina olevat ilmastot eivät välttämättä sisällä kaikkia mahdollisimman tarkkaan simulointiin tarvittavia tietoja. Rakennusfysikaaliset testi-ilmastot sisältävät huomattavasti enemmän tietoa kuin ohjelman omat ilmastot. (Kuva 10.)



KUVA 10. Ulkoilmaston valinta

Rakennusfysikaalisten testivuosi-ilmastojen sisältämät tiedot ovat ilman lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, tuulen nopeus ja suunta, kokonaissäteily vaakapinnalle, hajasäteily vaakapinnalle, suora säteily auringon sädettä vastaan koh-tisuoralle pinnalle ja sademäärä. Rakennusfysikaaliset testivuodet ovat nykyil-maston testivuodet Jokioinen 2004 ja Vantaa 2007 sekä tulevaisuuden testivuo-det Jokioinen 2030/2050/2100 ja Vantaa 2030/2050/2100.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin testivuosi-ilmastoa Vantaa 2007, koska ulko-puolen tiiliseinä on suoraan alttiina sateen vaikutukselle (Taulukko 3). Raken-nusfysikaaliset testivuosi-ilmastot saatiin Ilmatieteen laitoksen internetsivulta, josta ne vietiin Exceliin ja muutettiin wac-tiedostoksi WUFI-ohjelman omalla CreateClimateFile-ohjelmalla.

TAULUKKO 3. Rakennusfysikaalisen testivuoden valinta (8, s. 45)

Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
Rakenteet, joissa ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan. <u>Esimerkkirakenteita:</u> - puu- ja metalliverhotut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet - yläpohjat, joissa on vesikate - ryömintätilaiset alapohjat	<i>Jokioinen 2004</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²	<i>Jokioinen 2050</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²	<i>Jokioinen 2100</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²
Rakenteet, joissa sade ja ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan <u>Esimerkkirakenteita:</u> - tiiliverhotut ulkoseinät - eristerapatut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - käännetyt katot	<i>Vantaa 2007</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>etelä</i>	<i>Vantaa 2050</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>etelä</i>	<i>Vantaa 2100</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: <i>etelä</i>

¹ Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosista voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

² Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös joku muu kuin pohjoinen (ks. luku 4.5.3).

5.4 Laskenta ja tulokset

Simuloinnin laskentaosuus aloitettiin, kun kaikki yllä mainitut kohdat oli käyty läpi ja määritelty niihin halutut arvot. Laskenta käynnistettiin filmin kanssa, jolloin sitä voitiin samalla seurata. Laskennan valmistuttua tarkasteltiin rakenteen kokonaiskosteuden määrää sekä yksittäisten materiaalikerrosten kosteuspitoisuuksia taulukoista ja kuvaajista. Monitorointipisteistä saadut tulokset tallennettiin asc-tiedostoina. Asc-tiedostot vietiin edelleen Excelliin, jotta voitiin helposti tarkastella lämpötilaa ja suhteellista kosteutta halutussa monitorointipisteessä.

5.4.1 Rakenteen kosteuspitoisuuden muutos

Ohjelmasta saatiin tuloksena rakenteen kosteuspitoisuus simuloinnin alussa ja lopussa sekä minimi- ja maksimikosteuspitoisuus. Simuloinnissa 1 komponentin alkukosteus oli määritelty vakioksi koko rakenteessa ja sisäpuolen suhteellinen kosteus oli 50 %. Simuloinnissa kosteuspitoisuuden alkuarvoksi saatiin 8,92 kg/m² ja loppuarvoksi 56,01 kg/m². Kosteuspitoisuuden minimiarvo simuloinnissa oli 8,87 kg/m² ja maksimiarvo 81,77 kg/m².

Simuloinnissa 2 komponentin alkukosteus oli simuloinnin 1 tavoin vakio koko rakenteessa, mutta sisäpuolen suhteellisen kosteuden määriteltiin olevan 60 %. Simuloinnissa kosteuspitoisuuden alkuarvo oli 8,92 kg/m² ja loppuarvo oli 56,92 kg/m². Kosteuspitoisuuden minimiarvo oli 8,89 kg/m² ja maksimiarvo 82,22 kg/m².

Simuloinnissa 3 jokaiselle materiaalikerrokselle määriteltiin oma alkukosteus. Tiilirakenteisen ulkoseinän ja 3-kerrosrappauksen alkukosteudet saatiin ohjelmasta. Sementtipohjaisen kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin alkukosteudeksi arvioitiin 100 kg/m³. Sisäpuolen suhteelliseksi alkukosteudeksi valittiin 50 %. Simuloinnissa kosteuspitoisuuden alkuarvoksi saatiin 47,3 kg/m² ja loppuarvoksi 56,01 kg/m². Kosteuspitoisuuden minimiarvo simuloinnissa oli 45,81 kg/m² ja maksimiarvo 83,42 kg/m².

Simuloinnissa 4 jokaiselle materiaalikerrokselle määriteltiin oma alkukosteus, kuten simuloinnissa 3. Sementtipohjaisen kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin alkukosteudeksi arvioitiin tässä simuloinnissa 200 kg/m³. Sisäpuolen suhteelliseksi alkukosteudeksi määriteltiin 60 %. Simuloinnissa kosteuspitoisuuden alkuarvo oli 52,8 kg/m² ja loppuarvo oli 56,92 kg/m². Kosteuspitoisuuden minimiarvoksi saatiin 49,37 kg/m² ja maksimiarvoksi 88,84 kg/m². (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Rakenteen kosteuspitoisuus simulointitapauksissa

Simulointi	Kosteuspitoisuus [kg/m ²]			
	Alku	Loppu	Min.	Max.
1	8,92	56,01	8,87	81,77
2	8,92	56,92	8,89	82,22
3	47,3	56,01	45,81	83,42
4	52,8	56,92	49,37	88,84

5.4.2 Rakennekerrosten kosteuspitoisuuden muutos

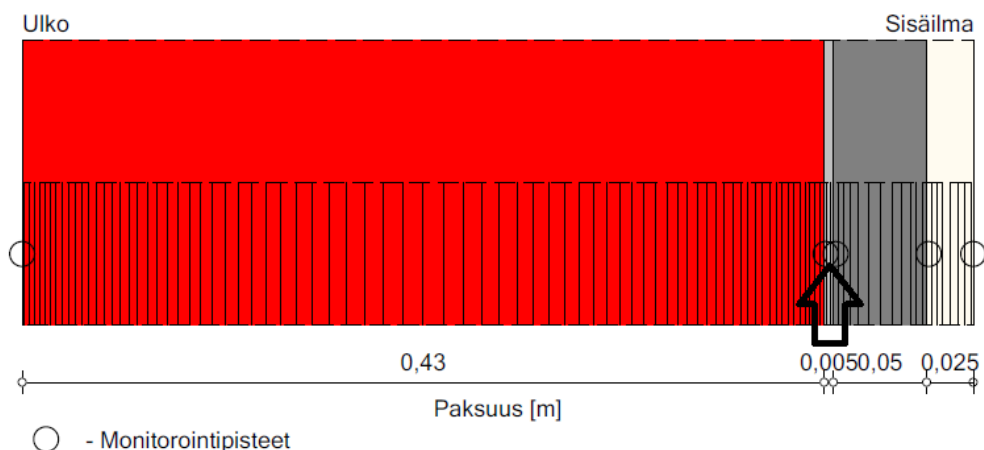
Ohjelma antoi tulokseksi myös rakenteen eri rakennekerrosten kosteuspitoisuudet. Rakennekerrosten kosteuspitoisuudet saatiin simuloinnin alusta ja lopusta sekä kosteuden minimi- ja maksimiarvot. (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Rakennekerrosten kosteuspitoisuus simulointitapauksissa

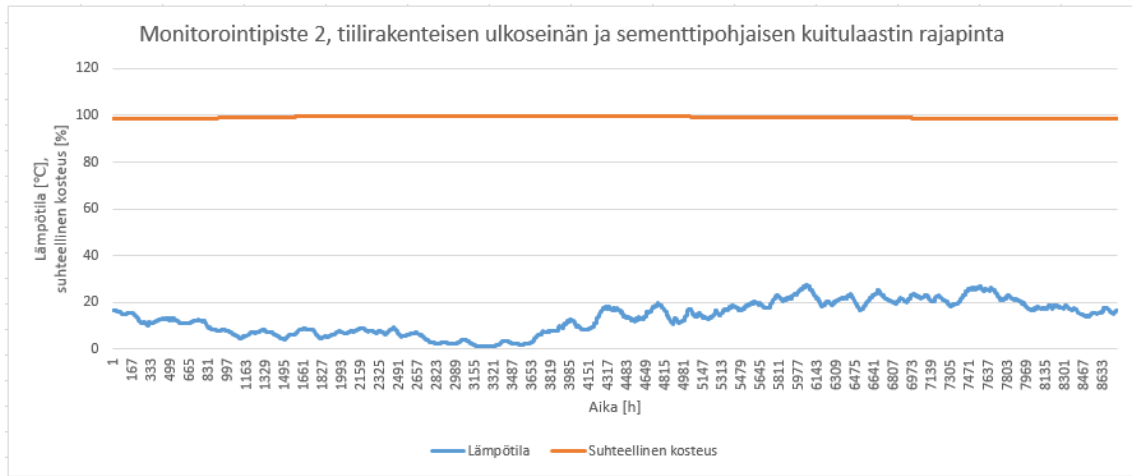
Simulointi	Kosteuspitoisuus [kg/m ²], alku			
	Tiilirakenteinen ulkoseinä, vanha	Sementtipohjainen kuitulaasti	Lämmöneristyslaasti	3-kerrosrappaus
1	18	0,56	1,13	45
2	18	0,56	1,13	45
3	85	100	100	210
4	85	200	200	200
	Kosteuspitoisuus [kg/m ²], loppu			
1	128,1	4,11	1,36	33,56
2	129,91	4,72	1,75	37,78
3	128,09	4,11	1,36	33,56
4	129,91	4,72	1,75	37,78
	Kosteuspitoisuus [kg/m ²], minimi			
1	17,97	0,53	0,59	31,81
2	17,97	0,56	0,76	36,38
3	85	3,66	1,35	32,53
4	85	3,89	1,74	37,13
	Kosteuspitoisuus [kg/m ²], maksimi			
1	187,7	77,55	3,19	45
2	187,83	99,33	11,66	45
3	187,86	100,13	100	210,8
4	188,07	200	200	213,36

5.4.3 Kriittiset monitorointipisteet

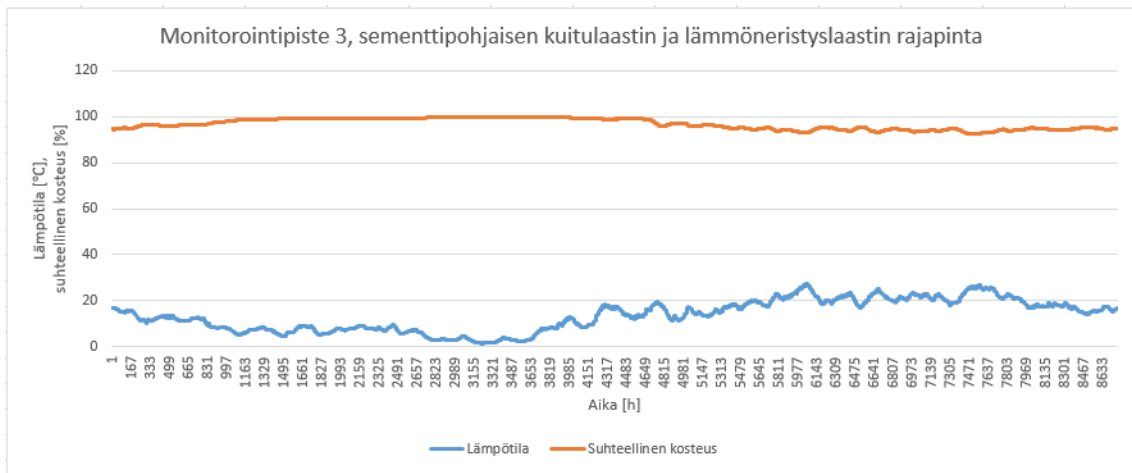
Kriittisiksi pisteiksi simulointien lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia tarkasteltaessa nousivat monitorointipisteet 2 ja 3. Monitorointipiste 2 sijaitsee tiiliseinän ja sementtipohjaisen kuitulaastin rajapinnalla ja monitorointipiste 3 sijaitsee kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinnalla (Kuva 11). Näissä kahdessa monitorointipisteessä suhteellinen kosteus nousee sataan prosenttiin (Kuva 12, 13). Simulointien 2, 3 ja 4 lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat esitetään liitteessä 2.



KUVA 11. Rakenteen kriittiset monitorointipisteet 2 ja 3



KUVA 12. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaaja monitorointipisteestä 2, tiilirakenteisen ulkoseinän ja sementtipohjaisen kuitulaastin rajapinta

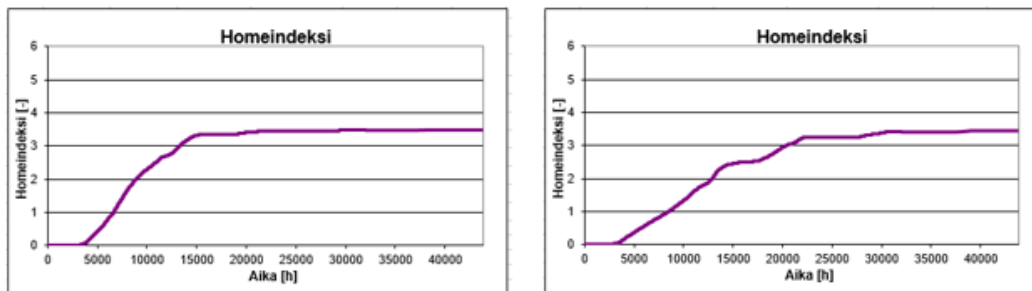


KUVA 13. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaaja monitorointipisteestä 3, sementtipohjaisen kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinta

6 HOMEHTUMISRISKIN ARVIOINTI

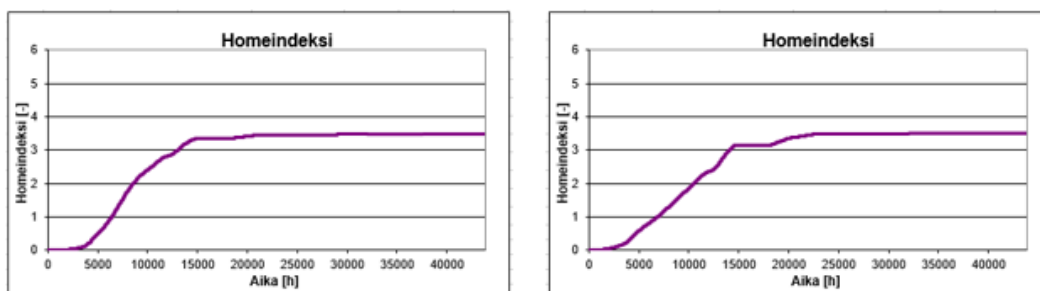
Rakenteen homehtumisriskiä ja homeen kasvua arvioitiin VTT:n ja TTY:n kehittämällä Suomalaisella homemallilla. Homemalliin vietiin kriittisten pisteiden tiedot lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta materiaalien rajapinnoilla, joista malli laski homeindeksin.

Simuloinnin 1 homeindeksin maksimiarvoksi homemalli antoi monitorointipisteeseen 2 arvon 1,95 ja monitorointipisteeseen 3 arvon 1,06. Homeindeksin maksimiarvossa otettiin huomioon homeen taantuminen liian kuivissa tai kylmissä olosuhteissa. Ilman taantumisen huomioon ottamista, homeindeksi molemmissa kriittisissä monitorointipisteissä nousi arvoon 3,5. (Kuva 14.)



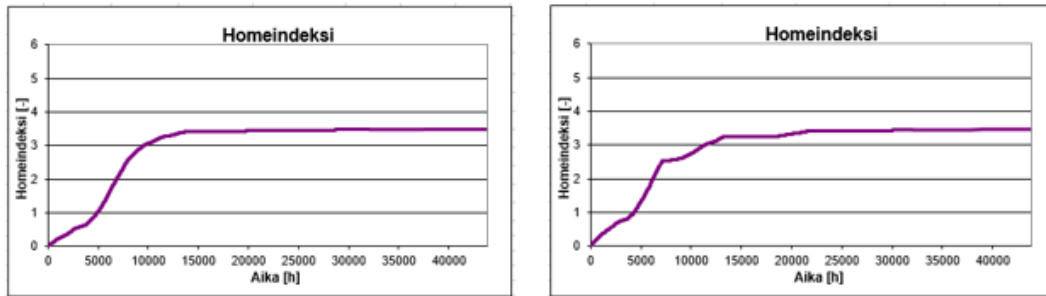
KUVA 14. Simuloinnin 1 homeindeksikuvaajat

Simuloinnin 2 homeindeksin maksimiarvoksi homemalli antoi, taantuma huomioon ottaen, monitorointipisteeseen 2 arvon 2,06 ja monitorointipisteeseen 3 arvon 1,51. Ilman taantumisen huomioon ottamista, homeindeksi molemmissa kriittisissä monitorointipisteissä nousi arvoon 3,5. (Kuva 15.)



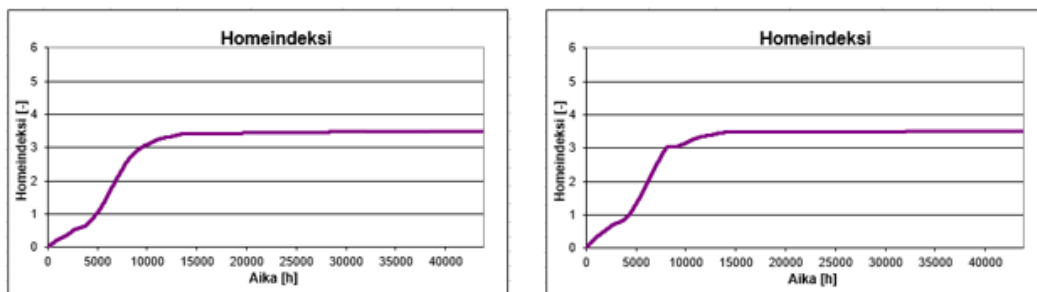
KUVA 15. Simuloinnin 2 homeindeksikuvaajat

Simuloinnin 3 homeindeksin maksimiarvoksi monitorointipisteessä 2 saatiin 2,81 ja monitorointipisteessä 3 2,58. Ilman taantuman huomioimista molempien monitorointipisteiden homeindeksi oli 3,5. (Kuva 16.)



KUVA 16. Simuloinnin 3 homeindeksikuvaajat

Simuloinnin 4 homeindeksin maksimiarvo monitorointipisteessä 2 oli 2,84 ja monitorointipisteessä 3 3,03. Homeindeksi ilman taantumaa oli molemmissa pisteissä 3,5. (Kuva 17.)



KUVA 17. Simuloinnin 4 homeindeksikuvaajat

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tehtävänä tarkastella massiivitiiliseinän rakennusfysikaalista toimintaa. Työssä perehdyttiin kosteuden ja lämmön vaikutuksiin rakennuksessa ja sen rakenteissa sekä niiden erilaisiin ominaisuuksiin. Opinnäytetyössä käytiin läpi lämmöneristysten suunnittelun periaatteita, sisäpuolisen lämmöneristysten vaikutuksia rakenteisiin ja lämmöneristyslaastia tiiliseinän lisälämmöneristeenä.

Opinnäytetyön päätarkoitus oli tutkia, sopiiko lämmöneristyslaasti korjauskohteen sisäpuoliseksi lämmöneristeeksi simuloimalla seinärakennetta WUFI-ohjelmalla. Ensin simuloitiin pelkkä vanha seinärakenne, jotta saataisiin selville tiiliseinän U-arvo ja kosteuspitoisuus ennen lisälämmöneristysten asentamista. Tulokseksi vanhan seinän kosteuspitoisuudeksi saatiin 36 kg/m^2 . Uutta seinärakennetta simuloitaessa lisättiin vanhan rakenteen sisäpuolelle sementtipohjainen kuitulaasti, lämmöneristyslaasti ja 3-kerrosrappaus. Uuden seinärakenteen kokonaiskosteuspitoisuudeksi saatiin noin 57 kg/m^2 .

Vanhan tiiliseinän U-arvo Wufin laskemana oli $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja uuden seinärakenteen U-arvoksi Wufista saatiin $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Uuden seinärakenteen tarkoitus oli puolittaa vanhan rakenteen U-arvo ja juuri siihen päästiin uudella rakenteella. Simulointien tuloksista kuitenkin havaittiin, että suhteellinen kosteus tiiliseinän ja sementtipohjaisen kuitulaastin rajapinnalla sekä kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinnalla nousee lähes sataa prosenttiin.

Suurin syy kosteuspitoisuuden ja suhteellisen kosteuden nousuun on viistosade, joka imeytyy kapillaarisesti tiilirakenteeseen. Lisäksi sisäpuolinen lisälämmöneristys hidastaa vanhan tiiliseinän kuivumista. Viistosateen imeytyminen seinään voitaisiin välttää pinnoittamalla tiiliseinä ulkopuolelta rappauksella. Pinnoitus ei kuitenkaan tässä korjauskohteessa ole mahdollista, koska kohde on suojeltu ja sen ulkonäköä ei saa muuttaa.

Uutta rakennetta tarkasteltiin vielä WUFI-simulointien lisäksi Suomalaisella homemallilla. Mallilla tarkasteltiin rakenteen kriittiset pisteet eli tiiliseinän ja kuitu-

laastin rajapinta sekä kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin rajapinta. Homemalista saatiin kriittisten monitorointipisteiden homeindeksin maksimiarvoksi, homeen taantuma huomioiden, 1-3. Tämä tarkoittaa sitä, että materiaalin pinnalla voi olla mikroskoopilla havaittavaa tai jopa silmin havaittavaa homeen kasvua. Jos taantumaa ei oteta huomioon, niin homeindeksi oli 3,5. Homeindeksin ollessa yli 3 materiaalin pinnalla on selvää mikroskoopilla havaittavaa homeen kasvua sekä mahdollisesti silmin havaittavaa homeen kasvua.

WUFI-simulointien ja homeindeksi-laskelmien tuloksena voidaan todeta, että lämmöneristyslaasti ei sovi korjauskohteen sisäpuoliseksi lisälämmöneristeeksi, koska tiiliseinään kerääntyy paljon kosteutta viistosateen takia. Kosteuspitoisuus seinässä nousee korkeaksi ja suhteellinen kosteus paikoittain sataan prosenttiin, minkä vuoksi homehtumisriski nousee.

Pelkästään simulointien tulosten ja homeindeksien perusteella ei kuitenkaan kannata täysin sulkea pois lämmöneristyslaastin käyttöä korjauskohteessa. WUFI-simuloinneissa sementtipohjaisen kuitulaastin ja lämmöneristyslaastin materiaaliarvot olivat vajaat, joten simulointien tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina.

Opinnäytetyön aikaa vievin ja haastavin osuus oli WUFI-ohjelman ja sen käyttöön liittyviin säätöihin tutustuminen ja niihin perehtyminen. Ohjelmaan ja sen toimintaan perehtyminen vei useita tunteja ja simulointeja. Aihetta voitaisiin viedä eteenpäin simuloimalla uutta rakennetta muilla mahdollisilla lämmöneristysmateriaaleilla ja ominaisuuksilla ja tarkastelemalla, millaisia arvoja niillä saataisiin.

LÄHTEET

1. Siikanen, Unto 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
2. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille: Kosteus. 2004. Rafnet-ryhmä. Saatavissa: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf. Hakupäivä 21.2.2018.
3. Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Saarijärvi: Rakennustieto Oy.
4. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille: Lämpö. 2004. Rafnet-ryhmä. Saatavissa: <http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/lampoo-sio27092004.pdf>. Hakupäivä 28.2.2018.
5. Nieminen, Jyri – Kouhia, Ilpo – Ojanen, Tuomo – Knuuti, Antti. Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja. Saatavissa: <http://www.hometalkoot.fi/file/15846.pdf>. Hakupäivä 28.2.2018.
6. Nurmi, Sakari 2012. Massiivirakenteen sisäpuolisen lisälämmöneristämisen vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21129/Nurmi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 12.3.2018.
7. Saint Gobain Rakennustuotteet Oy. Weber.therm 507. Lämmöneristyslaasti. Saatavissa: <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/49965.pdf>. Hakupäivä 12.3.2018.
8. Vinha, Juha – Laukkarinen, Anssi – Mäkitalo, Mikael – Nurmi, Sakari – Huttunen, Petteri – Pakkanen, Tomi – Kero, Paavo – Manelius, Elina – Lahdensivu, Jukka – Köliö, Arto – Lähdesmäki, Kimmo – Piironen, Jarkko – Kuhno, Vesa – Pirinen, Matti – Aaltonen, Anu – Suonketo, Jommi – Jokisalo, Juha –

Teriö, Olli – Koskenvesa, Anssi – Palolahti, Tuomas 2013. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristysten lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/frame-loppuraportti.pdf>. Hakupäivä 14.3.2018.

9. Energiatehokaskoti.fi. Lämmöneristys. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys. Hakupäivä 20.3.2018.
10. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE3549160-2ED6-4807-8556-230BDC60275B%7D/30749>. Hakupäivä 24.5.2018.

Tiiliseinä

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1900,0
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0,24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/mK]	0,6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	10,0
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	18,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	190,0
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	15,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK ²]	0,0002

3-kerrosrappaus

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1900,0
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0,24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/mK]	0,8
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	19,0
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/m ² s ^{0.5}]	0,017
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	8,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK ²]	0,0002

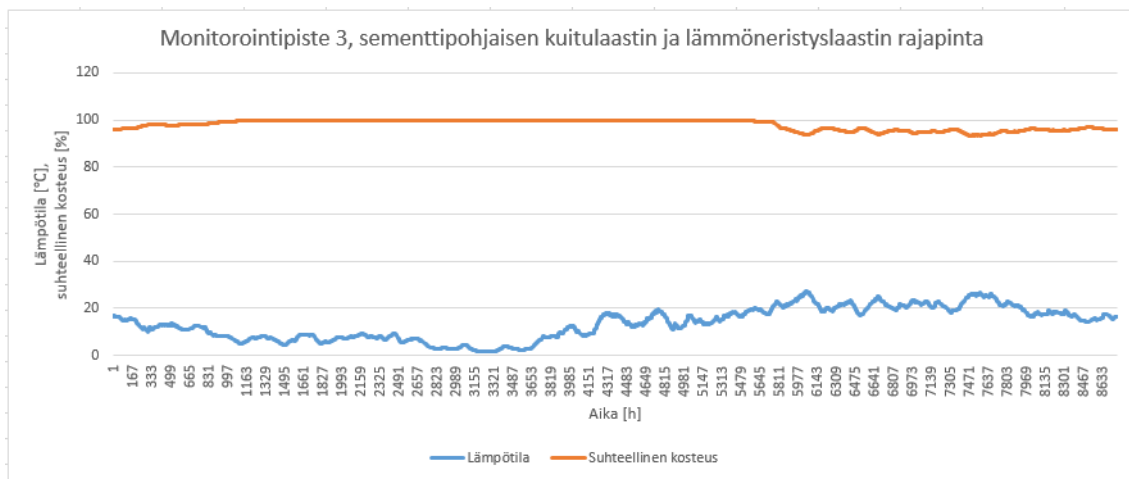
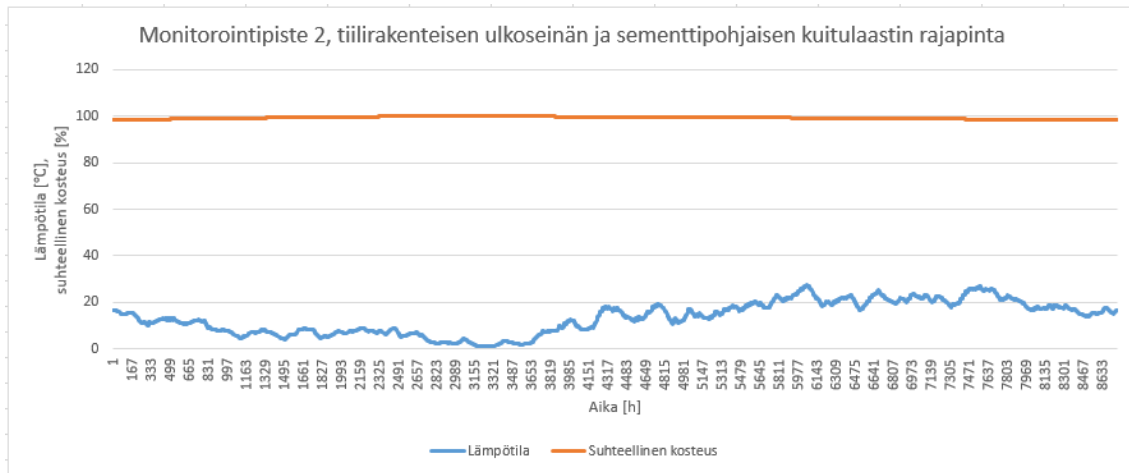
Sementtipohjainen kuitulaasti

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1600
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0,3
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/mK]	1,2
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	20

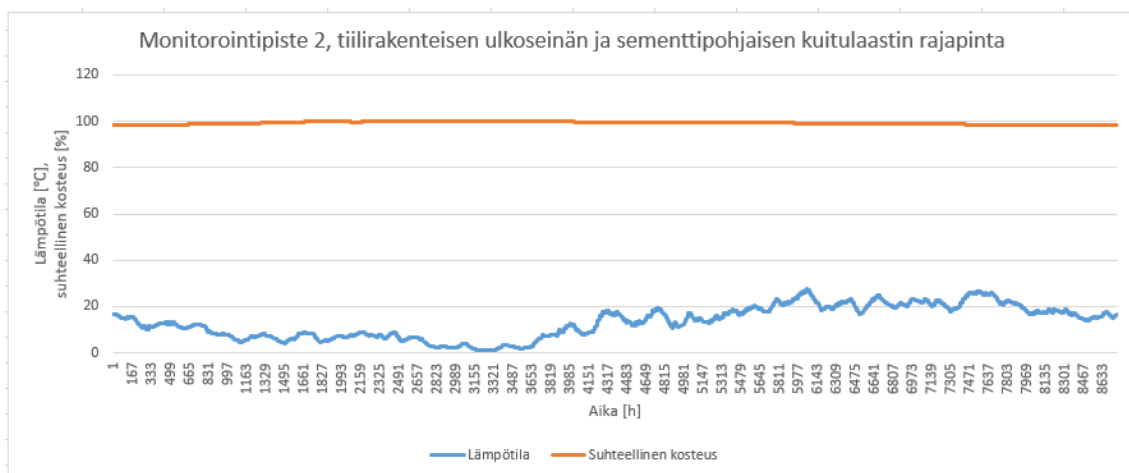
Lämmöneristyslaasti

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	250
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0,6
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/mK]	0,07
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	10,52

Simulointi 2

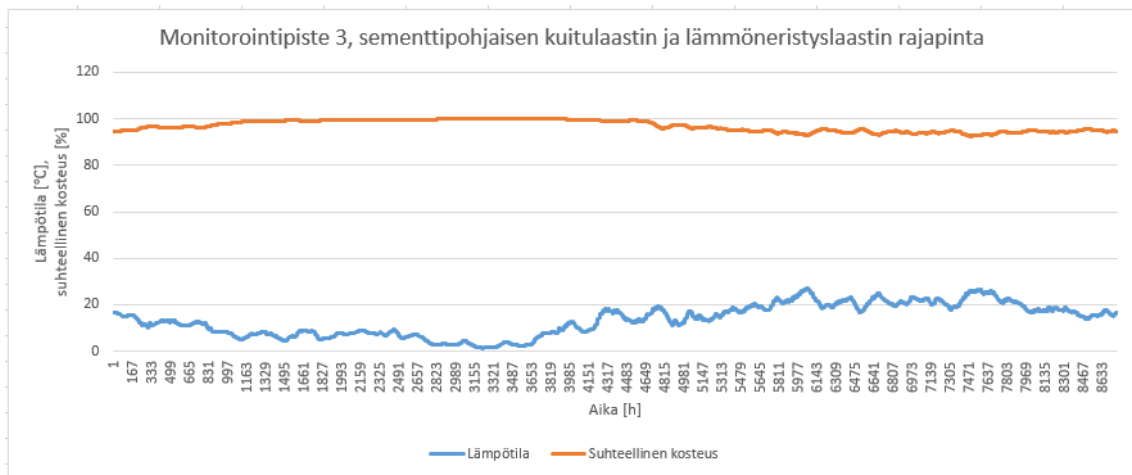


Simulointi 3



LÄMPÖTILAN JA SUHTEELLISEN KOSTEUDEN KUVAAJAT KRIITTISISSÄ MONITOROINTI-PISTEISSÄ

LIITE 2/2



Simulointi 4

